



**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA**  
**KAPILER TERHADAP PERFORMA SISTEM**  
**REFRIGERASI *CASCADE* DENGAN REFRIGERAN**  
**R-600A DAN R-134A**

**HERU DWI CAHYONO**  
**NIM. 201354065**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**RIANTO WIBOWO, S.T., M.Eng**  
**QOMARUDDIN, S.T., M.T**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN (S1)**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MURIA KUDUS**

**2017**

## HALAMAN PERSETUJUAN

### ANALISA PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA KAPILER TERHADAP PERFORMA SISTEM REFRIGERASI CASCADE DENGAN REFRIGERAN R-600A DAN R-134A

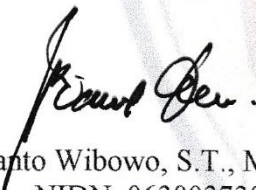
HERU DWI CAHYONO

NIM. 201354065

Kudus, 19 Agustus 2017

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Rianto Wibowo, S.T., M.Eng  
NIDN. 0630037301

Pembimbing Pendamping



Qomaruddin, S.T., M.T  
NIDN. 0626097102

Mengetahui

Koordinator Skripsi



Qomaruddin, S.T., M.T.  
NIDN. 0626097102

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISA PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA  
KAPILER TERHADAP PERFORMA SISTEM REFRIGERASI  
CASCADE DENGAN REFRIGERAN R-600A DAN R-134A**

**HERU DWI CAHYONO**

**NIM . 201354065**

Kudus, 19 Agustus 2017

Menyetujui,

Ketua Penguji,



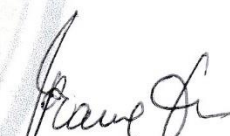
Bachtiar Satya Nugraha, S.T., M.T  
NIDN. 0624077201

Anggota Penguji I,



Rochmad Winarso, S.T., M.T  
NIDN. 0612037201

Anggota Penguji II,



Rianto Wibowo, S.T., M.Eng  
NIDN. 0630037301

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Mohammad Dahlan, ST.,M.T.  
NIDN. 0601076901

Ketua Program Studi Teknik  
Mesin



Rianto Wibowo, S.T., M.eng.  
NIDN. 0630037301



## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Heru Dwi Cahyono  
NIM : 201354065  
Tempat & Tanggal Lahir : Kudus, 24 September 1995  
Judul Skripsi : Analisa Pengaruh Panjang dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Performa Sistem Refrigerasi Cascade dengan Refrigeran R-600a dan R-134a

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Tugas Akhir ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan lain yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain telah dikutip dalam Skripsi dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muria Kudus.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Kudus, 19 Agustus 2017

Yang memberi pernyataan,



Heru Dwi Cahyono  
NIM. 201354065

**ANALISA PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA KAPILER  
TERHADAP PERFORMA SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* DENGAN  
REFRIGERAN R-600A DAN R-134A**

Nama Mahasiswa : Heru Dwi Cahyono

NIM : 201354065

Pembimbing :

1. Rianto Wibowo, ST., M.Eng
2. Qomaruddin, ST., M.T

**ABSTRAK**

Perkembangan teknologi telah melahirkan banyak sekali kemajuan pada dewasa ini, salah satunya terdapat pada bidang industri makanan dan obat-obatan dimana perkembangannya memerlukan *cold storage* yang mampu mencapai suhu yang sangat rendah. Pada sistem refrigerasi kompresi-uap siklus tunggal untuk mencapai suhu yang sangat rendah akan membebani kerja kompresor dan bekerja pada kondisi maksimum. Karenanya salah satu cara mencapai suhu yang sangat rendah ialah menggunakan sistem refrigerasi *cascade*. Pada sistem tersebut performansiya dipengaruhi oleh dimensi alat ekspansi yang berupa pipa kapiler. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh panjang dan diameter pipa kapiler terhadap performansi sistem refrigerasi *cascade*. Metode yang dipakai dalam penelitian kali ini adalah melakukan pengujian pada sistem refrigerasi *cascade*, dengan menguji performansinya dengan mengukur temperatur dan tekanan di setiap komponen utamanya saat sistem dalam keadaan *steady*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur masuk evaporator terendah mencapai  $-35,5^{\circ}\text{C}$  dan temperatur kabin terendah mencapai  $-25,6^{\circ}\text{C}$  pada panjang pipa kapiler 2 m dengan diameter 0,028 inch. COP sistem LS tertinggi mencapai 0,765 pada panjang pipa kapiler 3 m dengan diameter 0,028 inch.

**Kata kunci : *Alat ekspansi, Cascade, Pipa kapiler, Refrigerasi***

**EXPERIMENTAL STUDY OF PERFORMANCE COEFFICIENT OF  
CASCADE REFRIGERATION SYSTEM WITH VARIATION OF R-600A &  
R-134A AT HIGH AND LOW STAGE**

*Student Name* : Heru Dwi Cahyono

*Student Identity Number* : 201354065

*Supervisor* :

1. Rianto Wibowo, ST., M.Eng
2. Qomaruddin, S.T., M.T

**ABSTRACT**

*Technological developments have produced a lot of advancements today, one of which is in the food and pharmaceutical industry where its development requires cold storage that can reach very low temperatures. In a single-vapor compression-refrigeration refrigeration system to achieve very low temperatures it will burden the compressor's work and work on maximum conditions. Therefore one way of reaching a very low temperature is to use a cascade refrigeration system. In the system performance is affected by the dimension of the expansion tool in the form of a capillary tube. The purpose of this research is to know the effect of length and diameter of capillary tube on cascade refrigeration system performance. The method used in this research is to test the cascade refrigeration system, by testing its performance by measuring the temperature and pressure in each main component when the system is steady. The results of this study indicate that the lowest entrance temperature of the evaporator reaches  $-35.5^{\circ}\text{C}$  and the lowest cabin temperature reaches  $-25.6^{\circ}\text{C}$  at length of 2 m capillary tube with a diameter of 0.028 inch. The highest COP of low stage system reaches 0.765 at length of 3 m capillary tube with a diameter of 0.028 inch.*

**Keywords:** *Capillary Tube, Cascade, Expasion Device, Refrigeration*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Segala puja dan puji syukur bagi Allah SWT dan Sholawat beserta salam tetap tercurahkan pada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW. Dengan rahmat dan ridho-Nya akhirnya penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “ANALISA PENGARUH PANJANG DAN DIAMETER PIPA KAPILER TERHADAP PERFORMA SISTEM REFRIGERASI *CASCADE* DENGAN REFRIGERAN R-600A DAN R-134A”, dapat terselesaikan.

Dalam proses penyelesaian laporan ini, banyak pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun secara tidak langsung, secara materi, moral, maupun secara spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih dan hormat yang sebesar-besarnya:

1. Bapak Rektor Universitas Muria Kudus.
2. Bapak Dekan Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus.
3. Bapak Rianto Wibowo, S.T., M.Eng selaku Dosen pembimbing I dan selaku Kaprogdi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus yang telah meluangkan waktu, wacana, serta perhatian sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Qomaruddin, S.T., M.T. , selaku Dosen pembimbing II dan selaku Koordinator Tugas Akhir Teknik Universitas Muria Kudus. Terima kasih atas segala masukan serta memberikan dorongan dalam membimbing penulis selama penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Kepada seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus, terima kasih atas ilmu yang diberikan, semoga penulis dapat mengamalkan dan menjadi amal jariyah.



6. Rekan-rekan seperjuangan angkatan 2013, khususon pak Itoc, cung Agus, cung Zaka, mbah Rohmat, anggota Nduokem FC tanpa terkecuali genk Halilintar yang banyak membantu dalam penyusunan laporan ini.
7. Keluarga besar penulis, Ibu Siti Aminah tersayang, Alm. Bapak Subari, Bapak Sunarto, Mas Nugroho, Mbak Fery, bulek Faridhotul Munawaroh, Mas Burhanudin, Pak As'at sekeluarga, Mbah Hasyim sekeluarga, Mbah Yah sekeluarga, Bu Annisa Ammilia sekeluarga. Terima kasih atas kesabaran juga kasih sayang serta do'anya yang senantiasa mendukung penuh untuk kesuksesan penulis, baik moril, maupun materil.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini mungkin belum bisa dikatakan sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, saran dan sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang bersifat membangun demi terciptanya laporan yang lebih baik. Semoga hasil karya penuliasan ini dapat memberikan manfaat bagi kehidupan kita semua.

*Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Kudus, 19 Agustus 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Kajian Pustaka .....	5
2.2. Sistem Refrigerasi .....	5
2.3. Macam - Macam Sistem Refrigerasi .....	6
2.3.1. Siklus Refrigerasi Kompresi-Uap .....	7
2.3.2. Siklus Refrigerasi Absorpsi .....	8
2.3.3. Siklus Refrigerasi Gas .....	9
2.3.4 Siklus Refrigerasi <i>Cascade</i> .....	10
2.4. Komponen Utama Mesin Pendingin Kompresi-Uap .....	10
2.4.1. Kompresor .....	11
2.4.2. Kondensor .....	15
2.4.3. Alat Ekspansi .....	16
2.4.3.1. Pipa Kapiler .....	16
2.4.3.2. Keseimbangan Pada Pipa Kapiler .....	16

2.4.3.3. Pemilihan Pipa Kapiler .....	18
2.4.3.4. Katup Ekspansi Berkendali-Panas-Lanjut .....	18
2.4.4. Evaporator .....	18
2.5. Mesin Pendingin <i>Cascade</i> .....	19
2.6. Refrigeran .....	21
2.7. Prestasi Daur Kompresi Uap Standar .....	22

### **BAB III METODOLOGI**

3.1. Metodologi Penelitian .....	25
3.2. Diagram Alir Penelitian .....	26
3.3. Persiapan Alat dan Bahan .....	27
3.3.1. Mesin Refrigerasi <i>Cascade</i> .....	27
3.3.2. Alat Ukur Pengujian .....	32
3.4. Pengujian dan Pengambilan Data .....	34
3.4.1. Tes Kebocoran .....	34
3.4.2. <i>Vacuum</i> Sistem .....	35
3.4.3. <i>Charging</i> Sistem .....	36
3.4.4. Tahapan Pengujian dan Pengambilan Data .....	37
3.5. Tahapan Analisa Data .....	38

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Penelitian .....	41
4.2 Pembahasan .....	43
4.2.1 Pengaruh Panjang dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Temperatur Kabin .....	43
4.2.2 Pengaruh Panjang dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Temperatur Masuk Evaporator LS .....	44
4.2.3 Pengaruh Panjang dan Diameter Pipa Kapiler terhadap Daya Kompresor LS .....	45
4.2.4 Pengaruh Panjang dan Diameter Pipa Kapiler terhadap Penurunan Tekanan Keluar Pipa Kapiler $\Delta(P3-P4)$ .....	46
4.2.5 COP Sistem <i>Low Stage</i> .....	47
4.3 Analisa Regresi Non-Linier Parabola Kuadratik .....	49
4.4 Analisa Metode Regresi Menggunakan SPSS .....	51
4.4.1 Hasil Analisa Pengaruh Panjang Pipa Kapiler terhadap COP berdiameter 0.028 inch .....	51

4.4.1 Hasil Analisa Pengaruh Panjang Pipa Kapiler terhadap COP berdiameter 0.031 inch.....	52
--	----

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	55
----------------------	----

5.2 Saran.....	55
----------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>58</b>
----------------------	-----------



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Siklus Refrigerasi .....	6
Gambar 2.2. Siklus Kompresi Uap Standar .....	7
Gambar 2.3. Siklus Refrigerasi Absorpsi.....	8
Gambar 2.4. Daur Refrigerasi Carnot.....	9
Gambar 2.5. Siklus Refrigerasi <i>Cascade</i> .....	10
Gambar 2.6. Aliran Refrigeran dari Kompresor ke Kondensor .....	15
Gambar 2.7. Kondisi-kondisi tidak Seimbang yang Menyebabkan Pengosongan atau Melimpahnya Refrigeran di Evaporator.....	17
Gambar 2.8. Evaporator .....	19
Gambar 2.9. Skema Sistem Refrigerasi <i>Cascade</i> dan P-h Diagram .....	19
Gambar 2.10. <i>Double Pipe Helical Heat Exchanger</i> .....	20
Gambar 3.1. Penomoran Pengambilan Data .....	24
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3.3. Kompresor <i>Low Stage</i> .....	26
Gambar 3.4. Kompresor <i>High Stage</i> .....	27
Gambar 3.5. <i>Double Pipe Helical Heat Exchanger</i> .....	28
Gambar 3.6. Kondensor <i>High Stage</i> .....	29
Gambar 3.7. Kabin dan Evaporator <i>Low Stage</i> .....	29
Gambar 3.8. <i>Filter Dryer</i> .....	30
Gambar 3.9. Pipa Kapiler.....	30
Gambar 3.10. Refrigeran R-600a dan R-134a .....	31
Gambar 3.11. Termometer Digital.....	31
Gambar 3.12. <i>Pressure Gauge High Pressure</i> .....	32
Gambar 3.13. <i>Pressure Gauge Low Pressure</i> .....	32
Gambar 3.14. <i>Ampere Meter</i> .....	33
Gambar 3.15. Contoh Penyajian Grafik Hubungan Diameter dan Panjang Pipa Kapiler Terhadap COP Sistem LS.....	39

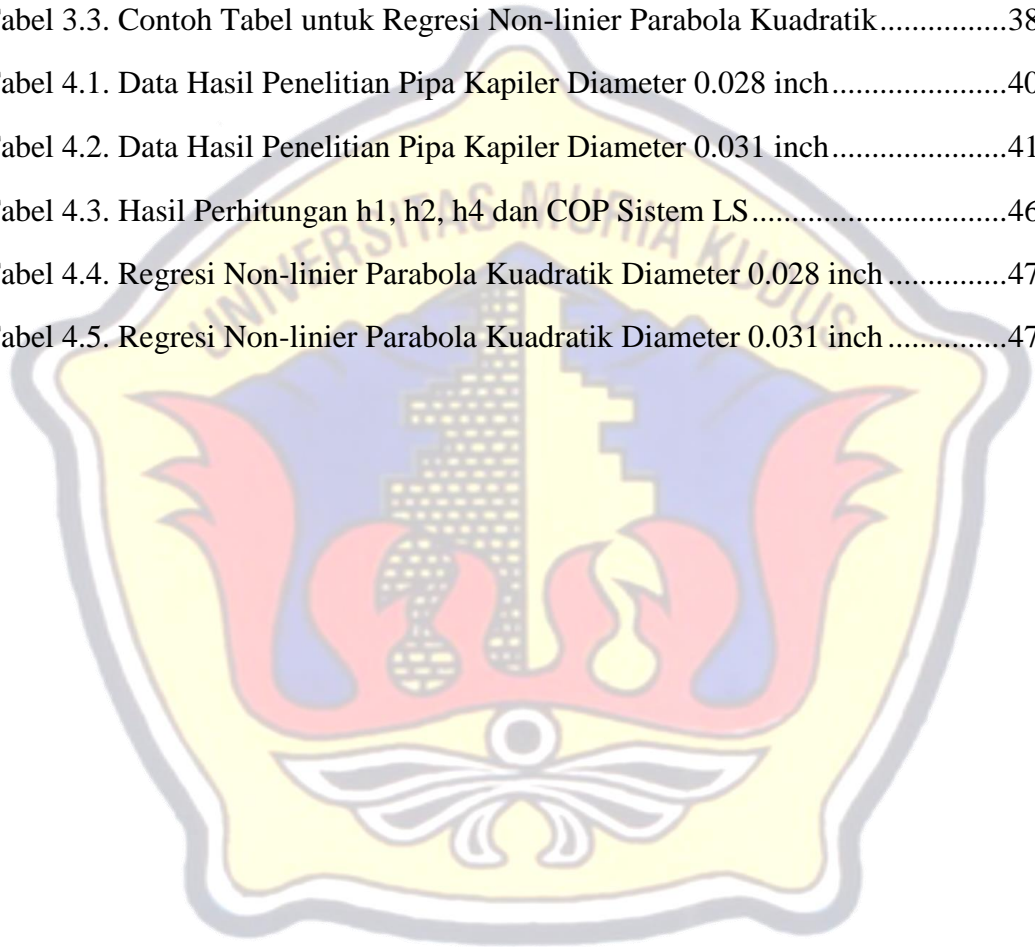


Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Variasi Pipa Kapiler Terhadap Temperatur Kabin.....	42
Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Variasi Pipa Kapiler Terhadap Temperatur Masuk Evaporator.....	43
Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Variasi Pipa Kapiler Terhadap Daya Kompresor LS.....	44
Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Variasi Pipa Kapiler Terhadap Penurunan Tekanan Keluar Pipa Kapiler $\Delta(P3-P4)$ .....	45
Gambar 4.5. Grafik Regresi NOn-linier Parabola Kuadratik Pipa Kapiler Terhadap COP Sistem LS	48



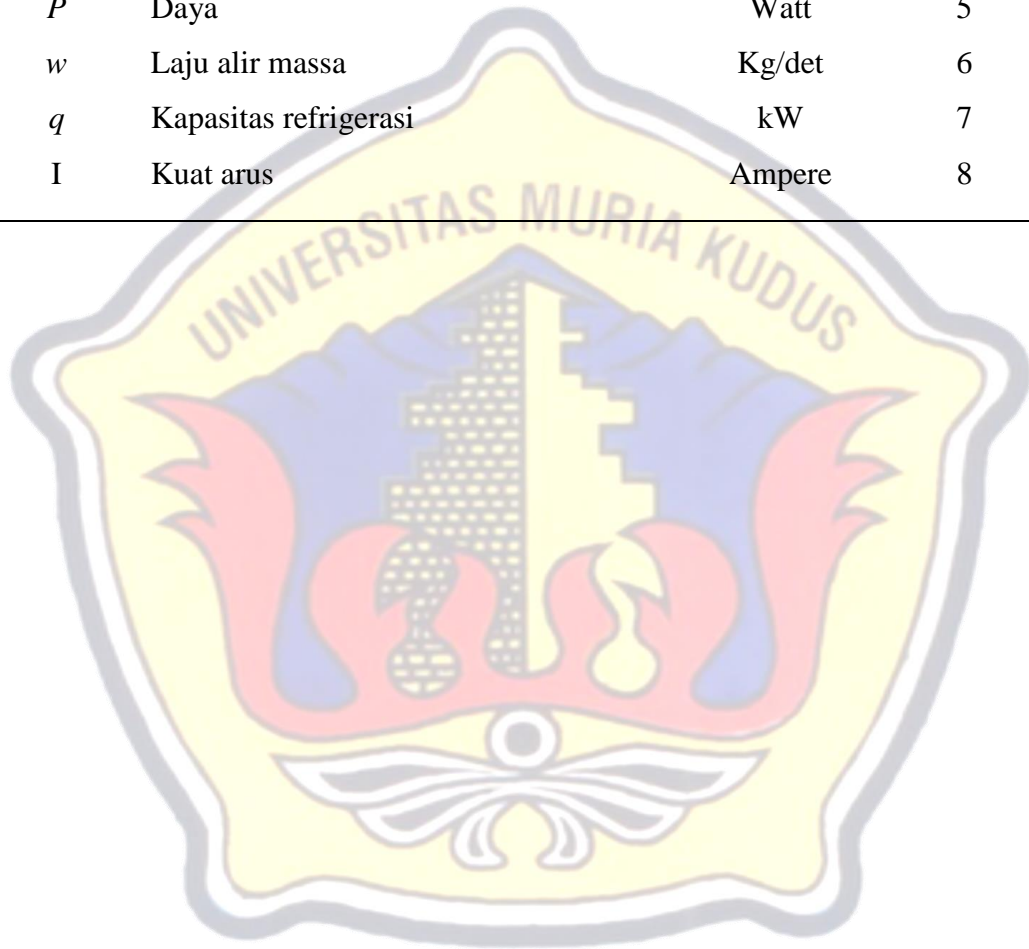
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelebihan dan Kekurangan Kompresor Jenis <i>Open Type</i> .....	11
Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Kompresor Semi Hermetik.....	12
Tabel 2.3. Kelebihan dan Kekurangan Kompresor Hermetik.....	12
Tabel 3.1. Contoh Tabel Hasil Pengujian Diameter 0.028 inch .....	35
Tabel 3.2. Contoh Tabel Hasil Pengujian Diameter 0.031 inch .....	36
Tabel 3.3. Contoh Tabel untuk Regresi Non-linier Parabola Kuadratik.....	38
Tabel 4.1. Data Hasil Penelitian Pipa Kapiler Diameter 0.028 inch.....	40
Tabel 4.2. Data Hasil Penelitian Pipa Kapiler Diameter 0.031 inch.....	41
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan $h_1$ , $h_2$ , $h_4$ dan COP Sistem LS.....	46
Tabel 4.4. Regresi Non-linier Parabola Kuadratik Diameter 0.028 inch.....	47
Tabel 4.5. Regresi Non-linier Parabola Kuadratik Diameter 0.031 inch.....	47



## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan	Nomor Persamaan
COP	Koefisien Performansi	-	1
$p$	Tekanan	Psi, Bar	2
$h$	Enthalpy	kJ/kg	3
$T$	Suhu	$^{\circ}\text{C}$ , K	4
$P$	Daya	Watt	5
$w$	Laju alir massa	Kg/det	6
$q$	Kapasitas refrigerasi	kW	7
$I$	Kuat arus	Ampere	8



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Perhitungan COP

Lampiran 2 Tabel Saturasi R-600a

Lampiran 3 Foto Hasil Pengujian

Lampiran 4 Foto copy buku bimbingan

Lampiran 5 Biodata Penulis

